



Optimización de Recursos en Entornos Universitarios mediante Redes Definidas por Software (SDN) Resource Optimization in University Environments through Software-Defined Networks (SDN)

Cesar Armando Moreira-Zambrano
cmoreira@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí

<https://orcid.org/0000-0002-0781-0757>

José Belisario Vera-Vera
belisariovera@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí

<https://orcid.org/0000-0002-9101-3426>

Freddy Carrera-Sánchez
freddy.carrera@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí

<https://orcid.org/0000-0003-3232-0853>

Alex Gregorio Mendoza-Arteaga
alex.mendoza@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí

<https://orcid.org/0000-0001-9427-9863>

RESUMEN

Las Redes Definidas por Software constituyen una oportunidad para ofrecer servicios de calidad. Esta investigación propone satisfacer las limitaciones que se detectaron en el funcionamiento, rendimiento y calidad del servicio en la ESPAM MFL. Se el método de ejecución fue PPDIOO. Como resultado se obtuvo el rendimiento del controlador SDN VAN CONTROLLER, el mismo que se encarga del proceso de enrutamiento y gestión de la red programada mediante el sistema Mininet, obteniendo como resultado 180 paquetes enviados, con 200 milisegundo de duración del envío, con una prioridad de flujo 5% y el tratamiento realizado por el controlador, como resultado el estudio destaca que la adopción de soluciones SDN no solo mejora la calidad del servicio a través de un control y programación más precisos de la red, sino que también ofrece una reducción significativa de costos.

Descriptor: programación informática; lenguaje de programación; lingüística informática. (Fuente: Tesaurus UNESCO).

ABSTRACT

Software Defined Networks are an opportunity to offer quality services. This research proposes to address the limitations that were detected in the operation, performance and quality of service in the ESPAM MFL. The method of execution was PPDIOO. As a result, the performance of the SDN controller VAN CONTROLLER was obtained, which is in charge of the routing and management process of the network programmed through the Mininet system, obtaining as a result 180 packets sent, with 200 millisecond duration of sending, with a flow priority of 5% and the treatment performed by the controller, as a result the study highlights that the adoption of SDN solutions not only improves the quality of service through a more precise control and programming of the network, but also offers a significant reduction in costs.

Descriptors: computer programming; computer languages; computational linguistics. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 09/06/2024. Revisado: 15/07/2024. Aprobado: 25/07/2024. Publicado: 02/08/2024.

Sección artículos de Tecnología



INTRODUCCIÓN

La relación entre la liquidez financiera y la rentabilidad es un tema central en la gestión financiera de las empresas, particularmente en contextos de incertidumbre económica. La liquidez, entendida como la capacidad de una empresa para cumplir con sus obligaciones financieras a corto plazo, es un indicador crucial de la salud financiera de una organización. Sin embargo, mantener niveles altos de liquidez puede implicar una menor rentabilidad, dado que los recursos que podrían ser invertidos en proyectos más lucrativos se mantienen en activos líquidos con bajo rendimiento.

La virtualización de redes es un área de interés creciente en la investigación y desarrollo tecnológico, el cual permite realizar pruebas en entornos de producción de manera directa sin interferir en el tráfico o su funcionamiento normal (Osaba, 2018). A nivel mundial, varios estudios han explorado este paradigma. (López, 2019). En su investigación en la Universidad de Valencia, destaca la evolución de las redes hacia una mayor programabilidad y dinamismo, comparando los beneficios de las Redes Definidas por Software (SDN) con las redes tradicionales. Asimismo, (Ramírez, et al 2018). Analizan el nuevo paradigma de las redes de datos, enfocados en entender qué son las SDN, su arquitectura, componentes y funcionamiento. Existen empresas a nivel mundial como ETECSA que están implementado sistemas de monitoreo para controlar parámetros de seguridad y rendimiento en las SDN (ETECSA, 2020). Por otro lado, estudios como el de (Martínez, et al 2017). También han investigado las mejoras en eficiencia y gestión que las SDN las cuales pueden ofrecer sobre las infraestructuras de red convencionales.

Estado del Arte

Redes definidas por software

Las Redes Definidas por Software (SDN) se caracterizan por una arquitectura independiente, dinámica, manejable, flexible y adaptable a las aplicaciones modernas de red, lo que facilita el control y la programación de la red (Oviedo, et al 2021, p. 420). En las SDN, el control se ejecuta en las capas superiores de la arquitectura de red, lo que garantiza un servicio de alta calidad mediante la fiabilidad y seguridad de los datos en la programación de aplicaciones (Barrientos-Avendaño et al., 2018, p. 190). Osaba (2018) describe las SDN como un paradigma emergente en el diseño, gestión y operación de redes, cuya propuesta central es la separación de los planos de datos y de control. Además, autores como Gómez y Rodríguez (2020) destacan que esta separación permite una gestión centralizada y programable de la red, mejorando su eficiencia y capacidad de respuesta. (Hernández et al. 2019) también subrayan que las SDN facilitan la implementación de políticas de seguridad y la optimización de recursos, lo que es crucial en el manejo de grandes infraestructuras de red.

Las redes actuales recopilan una gran cantidad de datos, especialmente al implementar servicios impulsados por dispositivos móviles. Los usuarios que generan diversos contenidos requieren que esta información se comparta de manera inmediata con otros usuarios (Tumbaco, et al 2021, p. 103). En este escenario representa un cambio disruptivo en términos de arquitectura y funcionamiento de las redes, las cuales deben adaptarse a la flexibilidad requerida por la virtualización de los centros de datos y dotarse de la agilidad necesaria para la provisión de nuevos servicios (Osaba, 2018). A pesar de los diversos esfuerzos de estandarización que aún están dispersos, destaca la ONF (Open Networking Foundation), una organización formada por los principales actores del mercado de las telecomunicaciones. La ONF se centra en promover, adoptar y estandarizar las Redes Definidas por Software (SDN) (Osaba, 2018). Según esta organización, una característica fundamental de las SDN es la separación del plano de datos y el plano de control, lo cual introduce un nuevo componente en la red denominado controlador, así como un protocolo de comunicaciones conocido como OpenFlow (Osaba, 2018).

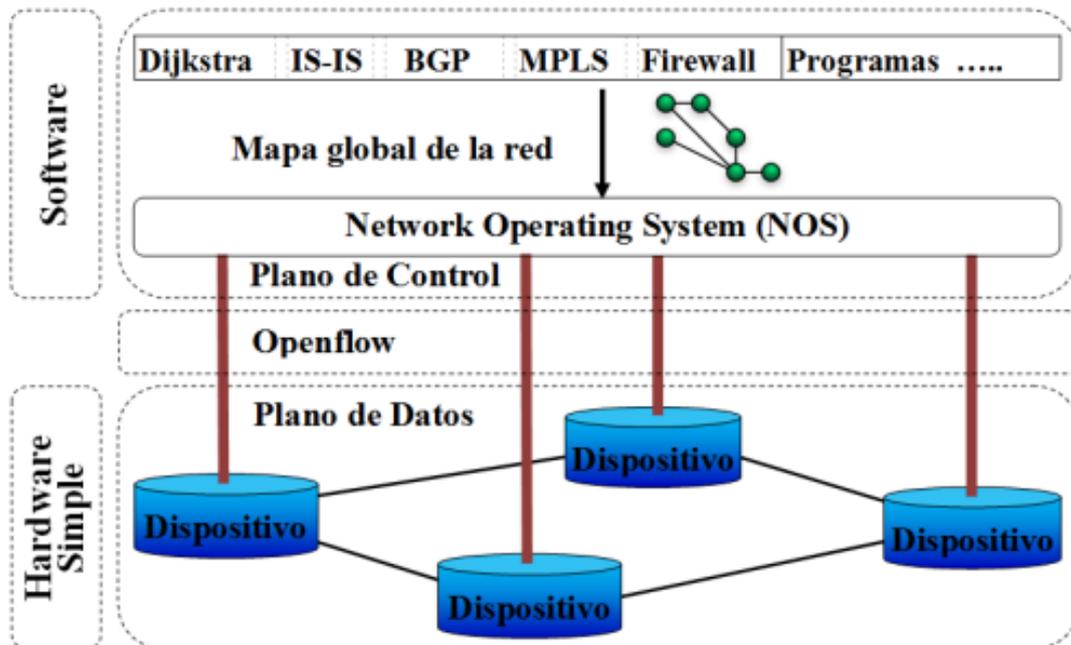


Figura 1: Redes definidas por Software
 Elaborado por: SDN (McKeown, 2014).

Tabla 1: Características en los controladores

Componentes	Beacon	Floodlight	SDN VAN CONTROLLER	POX	Trema	Ryu	ODL
Soporte OpenFlow	OF v1.0	OF v1.0	OF v1.0	OF v1.0	OF v1.3	OF v1.0, v1.2, v1.3 y extensiones Nicira	OF v1.0
Virtualización	Mininet y OpenvSwitch	Mininet y OpenvSwitch	Mininet y OpenvSwitch	Mininet y OpenvSwitch	Construcción de una herramienta virtual disimulación	Mininet y OpenvSwitch	Mininet y OpenvSwitch
Lenguaje de desarrollo	Java	Java	Java	Python	Rudy/C	Python	Java
Provee REST API	No	Si	Si	No	Si (Básica)	Si (Básica)	Si
Interfaz Grafica	Web	Web	Web	Python+, QT4	No	Web	Web
Soporte de plataformas	Linux, Mac OS, Windows y Android	Linux, MacOS, Windows	Linux	Linux, Mac OS, Windows	Linux	Linux	Linux, Mac OS, Windows



	para móviles						
Soporte de Openstack	No	Si	Si	No	Si	Si	Si
Multiprocesos	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
Código Abierto	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tiempo en mercado	4 años	2 años	6 años	1 años	2 años	1 años	5 años
Documentación	Buena	Buena	Buena	Pobre	Media	Media	Media

Elaborado por: Autores

METODOLOGÍA PROPUESTA

Debido a que el objeto de estudio, solución virtualizada SDN utilizando software libre como controlador de infraestructura de red para la ESPAM MFL, se definió la metodología Cuantitativa con un método de ejecución PPDIIO, el mismo que integra las fases pertinentes como Preparar Planear, Diseñar, Implementar, Operar, Optimizar.

Fase de preparación

Consistió en investigar y analizar las diferentes tecnologías y herramientas de comunicación y router, controladores y sistemas de programables para redes y centros de datos definidos por software disponibles en el mercado, sean estas privadas como libre con el propósito de minimizar costos de implementación y despliegue al momento la implementación de la red definida por software SDN (Oviedo, et al 2021, p. 420).

Los avances y costos elevados que representa el diseño y construcción de una red física están generando que los administradores de red opten por contratar recursos virtuales, siendo las redes definidas por software la opción más eficaz, integrando las redes programables con el sistema de gestión y administrador como controladores SND (Barrientos-Avenida et al., 2018, p. 190).

Los controladores SND, los cuales pueden ser escalables dependiendo los requerimientos del cliente, por lo que el despliegue de toda esta infraestructura será a nivel de SND y con sistemas mininet y controladores SDN definidos por software (Osaba, 2018). Esta fase se definen los componentes más importantes para la elaboración de la arquitectura virtualizada SDN en un laboratorio controlado.

Tabla 2: Componentes de una infraestructura de red

Infraestructura Tecnológica
a. Mikrotik
b. VMware Workstation
c. Controladora SDN (Onos, Aruba Van SDN, OpenDaylight)
d. Mininet (Python, Topología, Lineal, Plana, Estrella)
e. Sistemas Windows
f. Sistemas Linux Ubuntu, Kali Linux

Elaborado por: Autores



Fase de planificación

Para el despliegue de la investigación es necesario el cumplimiento de los siguientes requerimientos descritos en la siguiente tabla #3.

Tabla 3: Equipamiento necesario para el despliegue del laboratorio controlado.

Herramienta	Tecnología	Versión	Libre/propietaria
Mikrotik CHT 49	Mikrotik chr-6.49.4	6.49.4 (x86_64)	Libre
Mikrotik CHT 49	Mikrotik chr-6.49.4	6.49.4 (x86_64)	Libre
Mikrotik CHT 49	Mikrotik chr-6.49.4	6.49.4 (x86_64)	Libre
SDN CONTROLLER	VAN Aruba Van HP	hpe-van-sdn-ctrl-2.8.8	Libre
Mininet	Linux Ubuntu	3.3.3	Libre
Win10	Windows 10	10	Propietaria
Kali Linux	Linux	20.04	Libre
Plataformas y Servicios			
Infraestructura robusta y tolerante a fallos.			
Plataforma de virtualización.			
Integración de sistemas de conmutación en el plano de control y datos			

Elaborado por: Autores

Fase de diseño

En esta fase se tomó como referencia el diseño de la red de la ESPAM MFL, y se propone un nuevo diseño incorporando los componentes necesarios para el despliegue de la red definida por software SDN, con el controlador de gestión y administración mediante el protocolo OpenFlow.

Topología SDN

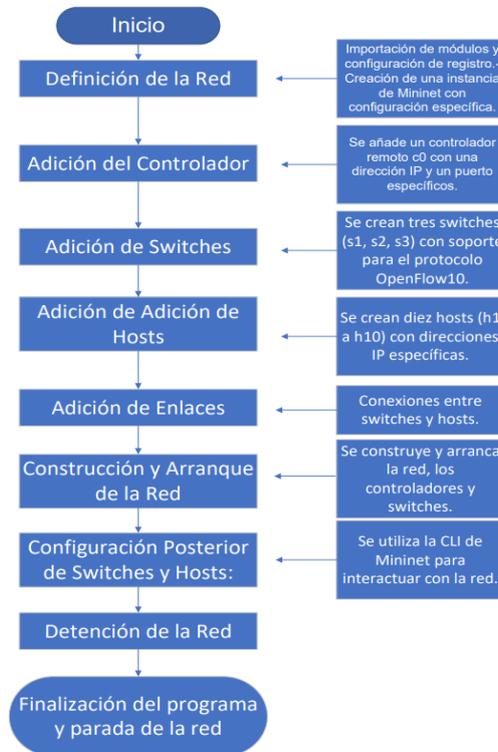


Figura 2: Topología de red propuesta
Elaborado por: Autores

En el diagrama propuesto presenta un nuevo esquema de red, en la que todos los elementos que intervienen trabajen de manera síncrona, Surge debido que los centros de datos no pueden responder a patrones de tráfico impredecibles, Se tendría dos alternativas: migrar a una red más costosa invirtiendo dinero y tiempo de configuración o adaptar a una red definida por software SDN para docentes, estudiantes y personal administrativo que requieren cambios dinámicos y rápidos.



Tabla 4: Direccionamiento IP utilizado para el entorno controlado.

Herramienta	Dirección Ip	Gateway	Interfaz	Descripción
Mikrotik R1	192.168.200.152/24	192.168.200.16	Ether1	Internet
	20.20.20.253/30	none	Ether2	WAN
	30.30.30.254/24	none	Ether3	LAN01
	50.50.50.253/30	none	Ether3	DMZ
	192.5.5.100	none	OpenFlow	OpenFlow
Mikrotik R2	192.168.200.151/24	192.168.200.16	Ether1	Internet
	20.20.20.254/30	none	Ether2	WAN
	192.5.5.254/24	none	Ether3	LAN
	192.5.5.100	none	OpenFlow	OpenFlow
Mikrotik R3	192.168.200.153/24	192.168.200.16	Ether1	Internet
	50.50.50.254/30	none	Ether3	DMZ
	100.100.100.254/24	none	Ether2	LAN2
	192.5.5.100	none	OpenFlow	OpenFlow
SDN VAN CONTROLLER	192.5.5.100/24	192.5.5.254	LAN	LAN
Mininet	30.30.30.253/24	30.30.30.254	LAN01	LAN01
	30.30.30.252/24	Puente	LAN01	LAN01
	30.30.30.252/24	Administración	LAN01	LAN01
WINDOWS	192.5.5.252/24	192.5.5.254	LAN	LAN
Kali Linux	100.100.100.250/24	100.100.100.254	LAN2	LAN2

Elaborado por: Autores.



Fase de implementación

Una vez definido los mecanismos de diseño y la respectiva arquitectura de red se procede con la implementación tecnológica con la herramientas definidas en la fase anterior, como complemento base para el despliegue e implementación de la red SND virtual netamente definida por software se procede con la instalación y creación de la máquinas virtuales, para lograr los objetivos de la presente investigación, en fundamental indicar que todos los sistemas utilizados en el laboratorio controlado son de libre distribución:

Tabla 5: Máquinas Virtuales y Herramientas Utilizadas.

MAQUINAS VIRTUALES	HERRAMIENTAS
Kali Linux	NMAP
Windows cliente (Windows 7) (2)	Administración
Router Mikrotik (3)	Rutas Dinámicas, Openflow
Mininet Ubuntu 20.04	Python
SDN VAN CONTROLLER	Data Plane

Elaborado por: Autores.

Una vez integrados los puertos y definido el controlador ya podemos revisar el flujo de paquete, ya tenemos integrado la tecnología de Mikrotik a un controlador SDN controller para la gestión centralizada de una red netamente definida por software como indica la figura 3.

Switch	Version	Match	Actions	Info	Bytes	Packets	Duration
oflow1	1	dtype:0x8999	output:controller	priority 60...	67 B	1 B	00:44:29.96
oflow1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	0 B	0 B	00:44:29.96
oflow1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	4788 B	14 B	00:44:29.96
oflow1	1	dtype:0x806	output:controller, ...	priority 31...	3720 B	62 B	00:44:29.96
oflow1	1		output:normal	priority 0, ...	1735.2 KiB	25.7 KiB	00:44:29.96
oflow1	1	inport:1 dtype:0x8...	output:normal	priority 34...	60 B	1 B	00:44:27.93

Figura 3: Flujos de paquetes OpenFlow en router Mikrotik.
 Elaborado por: Autores

Es fundamental realizar la misma configuración en cada uno de los router del laboratorio, para este ejemplo se utilizaron 3 router Mikrotik con los componentes OpenFlow integrados y el respectivo protocolo de enrutamiento dinámico. Configurar correctamente el protocolo Openflow Topology para desplegar la topología de red creada y definida por software, el



controlador muestra los router mikrotik y los host que pertenecen a cada red LAN, como indica la figura 4.

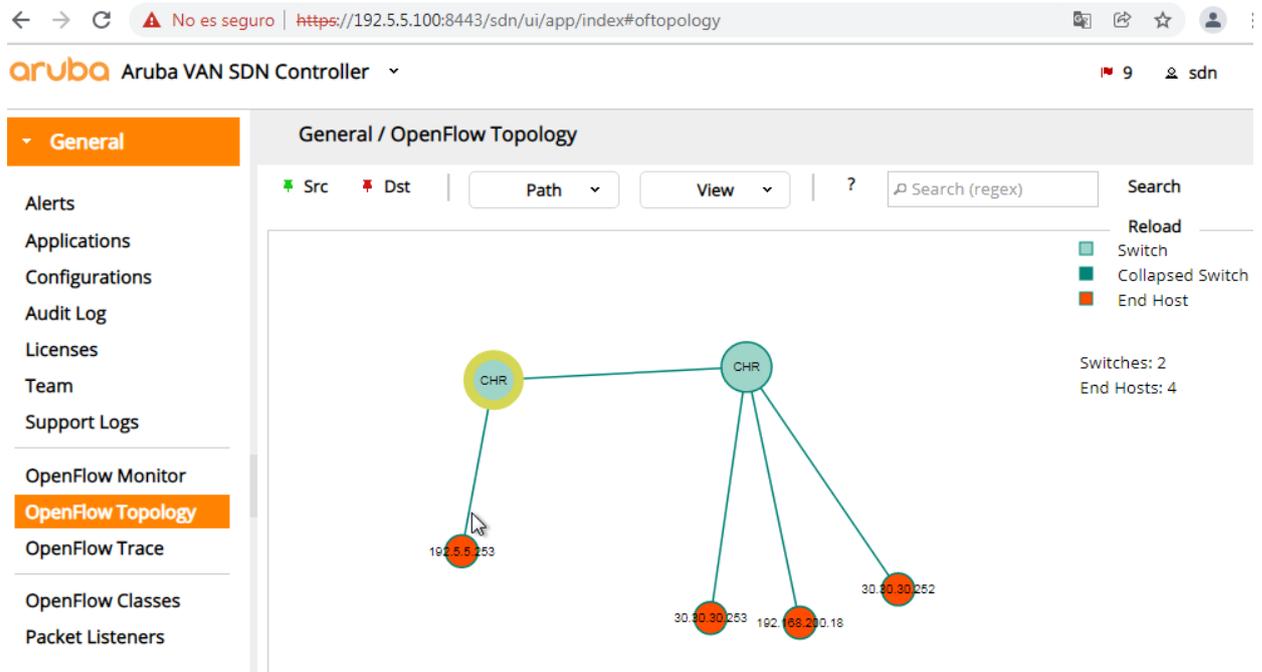


Figura 4: Topología de red SDN VAN Controller
Elaborado por: Autores

Un conmutador OpenFlow consta de una o varias tablas de flujo y una tabla de grupo, la que permite realizar búsquedas y reenvíos de paquetes, un canal OpenFlow a un controlador externo donde el conmutador se comunica con el controlador y el controlador gestiona el conmutador a través del protocolo OpenFlow, una vez sincronizado el controlador SDN, el sistema Mininet y la integración con los router Mikrotik, podemos dirigirnos hacia cualquier router y visualizar los flujos dentro de los router como muestra la figura 5.

Switch	Version	Match	Actions	Info	Bytes	Packets	Duration
oflow1	1	dtype:0x8999	output:controller	priority 60...	67 B	1 B	01:07:24.65
oflow1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	0 B	0 B	01:07:24.65
oflow1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	12.5 KiB	38 B	01:07:24.65
oflow1	1	dtype:0x806	output:controller, ...	priority 31...	7.7 KiB	132 B	01:07:24.65
oflow1	1		output:normal	priority 0, ...	1511.2 KiB	24.6 KiB	01:07:24.65
oflow1	1	inport:1 dtype:0x8...	output:normal	priority 34...	60 B	1 B	01:07:16.66

Figura 5: Flujos OpenFlow de la red SDN VAN Controller
Elaborado por: Autores

La figura 6 muestra la topología final integrada con los 3 router Mikrotik, el sistema de programación de redes SDN Mininet, los hosts el controlador SDN VAN Controller y los clientes nodos creados, en este punto es fundamental realizar pruebas de alcance ICMP.

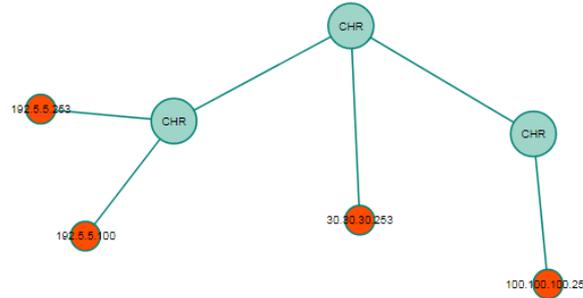


Figura 6: Topología openflow de la red SDN VAN Controller
Elaborado por: Autores

Para realizar las pruebas de comunicación entre todos los equipos y la red SDN debemos de ubicar las opciones **Src** y **Dst**, para este caso, seleccionamos el origen que es el host 100.100.100.253 y debemos seleccionar el destino que corresponde al host 192.5.5.253 y de manera automática nos traza la ruta dando como resultado satisfactorio, ver figura 7.

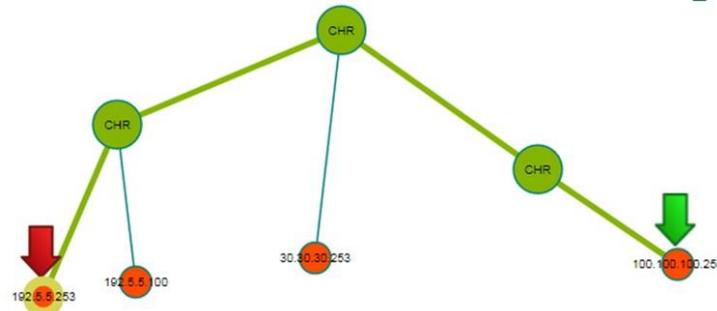


Figura 7: Pruebas de Funcionamiento de la red SDN VAN Controller
Elaborado por: Autores

Una vez que se comprobó que las comunicaciones fluyen entre todos los equipos y segmentos de la red definida por software integrando OpenFlow, se procedió a crear la topología de red SDN mediante el comando `sudo mn --controller=remote,ip=10.0.0.251 --topo=single, 10, tal` como indica la figura 8. Donde se desplegó la red con 10 host y se integró a él Open vSwitch.

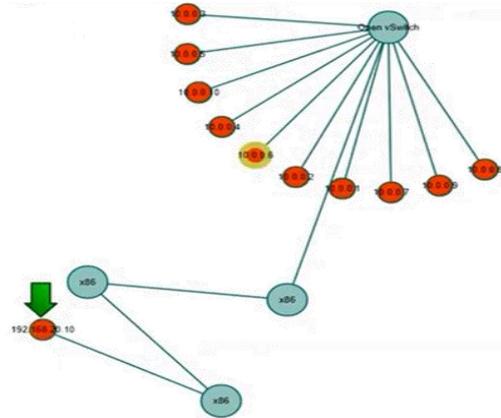


Figura 8: Pruebas de Funcionamiento de la red SDN VAN Controller con router Mikrotik

Elaborado por: Autores

Como resultado del despliegue de la red definida por software SDN, procedemos a realizar la comprobación con la finalidad de ver el funcionamiento de la red, para esto nos debemos de colocar el cualquier equipo activo de la red dentro del controlador VAN y seleccionar Src, luego seleccionar cualquier equipo de la red SDN y escoger la opción Dst, si todo marcha bien se debe trazar la ruta del proceso del paquete como indica la figura 9.

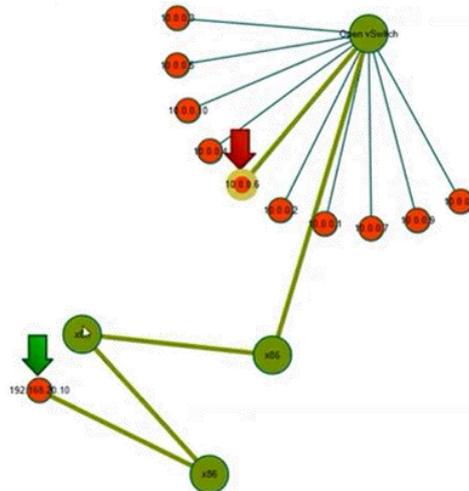


Figura 9: Pruebas de Funcionamiento de la red SDN VAN Controller con router Mikrotik

Elaborado por: Autores

Fase de operación

En esta fase se detalla el análisis funcional desplegado sobre el laboratorio de pruebas SDN, implementado en base a los requerimientos plenamente establecido en las fases anteriores. Una vez definida las interfaces, se puede realizar una programación de nuevas redes programables o realizar la respectiva monitorización del funcionamiento de la red SDN, se debe revisar constantemente las tablas de ruteo, actualizar nuevas rutas si fuera el caso o la respectiva actualización del controlador VAN.

Fase de optimización

Universidades, institutos y grandes corporaciones, operadores y proveedores de servicios se ven obligados a desplegar soluciones competitivas. El crecimiento exponencial del contenido multimedia, la explosión de la computación en la nube, el impacto del creciente uso de tecnología móvil y las presiones institucionales para minimizar los costos mientras que los ingresos se mantienen fijos están convergiendo para causar estragos en los modelos empresariales tradicionales con despliegues de soluciones basadas en software, por lo que se propone la topología SND como muestra la figura 10.

Se presenta como solución basada en software una topología de red programable como solución de bajo costo y de alta disponibilidad, convergiendo a aplicaciones y desacoplando la capa de aplicación del plano datos que pueda ser gestionada y administrada de manera centralizada.

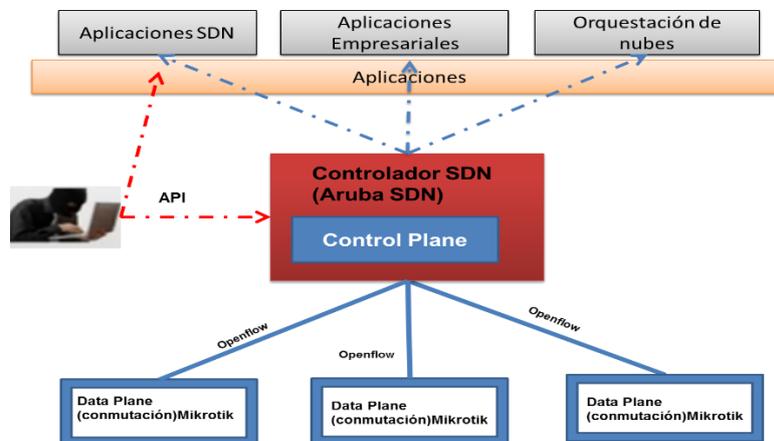


Figura 10: Diagrama de Red SDN optimizado.
 Elaborado por: Autores

Consultando la tabla de flujos en R1,R2 y R3 se puede ver que cada interruptor ha agregado una entrada de la tabla de flujo con una acción directa hacia el controlador SDN, se observa la cantidad de bytes enviado, paquetes procesados y la durecion de paquete, ver figura 11.

OpenFlow								
Switches Flows Ports								
Switch	Version	Match	Actions	Info	Bytes	Packets	Duration	
oflow 1	1	dtype:0x8999	output:controller	priority 60...	66 B	1 B	00:06:48.52	
oflow 1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	0 B	0 B	00:06:48.52	
oflow 1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	1710 B	5 B	00:06:48.52	
oflow 1	1	dtype:0x806	output:controller, ...	priority 31...	1620 B	27 B	00:06:48.52	
oflow 1	1		output:normal	priority 0, ...	313.8 KiB	2282 B	00:06:48.52	
oflow 1	1	inport:2 dtype:0x8...	output:normal	priority 34...	0 B	0 B	00:06:33.11	

Figura 11: Flujos de router 1 Mikrotik con OpenFlow y SDN

Elaborado por: Autores



RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, se creó un laboratorio en un entorno controlado. Con el objetivo de demostrar que, utilizando el mismo equipamiento existente, es posible implementar una red programable SDN con los beneficios que esta conlleva (mayor control y flexibilidad, reducción de costos y tiempo para su implementación), resaltando fundamentalmente su rápida adaptación a las exigencias de las nuevas tecnologías emergentes, con la utilización del controlado HP Van SDN Controller por sus características y facilidad de implementación (Smith & Doe, 2023).

Tabla 6: Controladores, información de soporte Disponible.

Controladores	Documentación	Soporte	Plataforma
HP Van Controller	Buena	OpenFlow v1.0-v1.4	Linux
OpenDayLight	Media	OpenFlow v1.0-v1.4	Linux, Mac Os, Windows
Ryu	Media	OpenFlow v1.0-v1.3	Linux
Beacon	Buena	OpenFlow v1.0	Linux, Mac Os, Windows
NOX	Media	OpenFlow v1.0	Linux
POX	Pobre	OpenFlow v1.0	Linux, Mac Os, Windows
Floodlight	Buena	OpenFlow v1.0-v1.4	Linux, Mac Os, Windows

Elaborado por: Autores

Se realizó el envío y recepción de paquetes a nivel de protocolo de mensajes de control de Internet ICMP entre 10 estaciones de red desplegadas mediante el Controlador SDN, basada en una topología segmentada en Mininet. Se obtuvo el rendimiento del controlador SDN VAN CONTROLLER, el mismo que se encarga del proceso de enrutamiento y gestión de la red programada mediante el sistema Mininet, obteniendo como resultado 180 paquetes enviados, con 200 milisegundo de duración del envío, con una prioridad de flujo 5% y el tratamiento realizado por el controlador, un proceso de enrutado y gestión verdadera, como muestra la Tabla7.

Tabla 7: Componentes del controlador SDN Van Controller.

Estado	Paquete	Duración	Prioridad de flujo	Nombre de la tabla	Selector	Tratamiento	Nombre de la Aplicación
Agregado	0	200	40000	0	ETH_TYPE: lldp	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador: verdadero	*centro
Agregado	0	200	40000	0	ETH_TYPE: bdp	imm [SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	180	200	40000	0	ETH_TYPE: arp	imm [SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro



Agregado	180	200	5000	0	ETH_ TYPE: ipv4	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	0	200	40000	0	ETH_ TYPE: lldp	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	0	220	40000	0	ETH_ TYPE: bdp	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador: verdadero	*centro
Agregado	160	210	40000	0	ETH_ TYPE: arp	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	180	200	5000	0	ETH_ TYPE: ipv4	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	160	210	40000	0	ETH_ TYPE: arp	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro
Agregado	180	200	5000	0	ETH_ TYPE: ipv4	imm[SALIDA:CONTROLADOR], borrador:verdadero	*centro

Elaborado por: Autores

Se procedió a identificar los puertos para dispositivo y nivel de latencia. En la Tabla 8 se registran los datos obtenidos del nivel de latencia, a través del ping establecido a todas las PC (10), mediante el sistema Mininet, desplegadas y gestionadas por el sistema VAN CONTROLLER desde las PC1 virtual hacia todas las demás PCs.

Tabla 8: Paquetes enviados, recibidos, puertos utilizados y tiempo de duración.

ID de Puerto	Paquetes Recibidos	Paquetes Enviados	Bytes Recibidos	Bytes Enviados	Paquetes RX Descartados	Paquetes TX Caídos	Duración (SEG)
1	44	945	3456	131903	0	0	0
2	45	951	3498	132755	0	0	0
3	880	888	125328	127552	-1	-1	0
4	900	890	127174	129120	-1	-1	0
5	44	945	3456	131903	0	0	0
6	45	951	3498	132755	0	0	0



7	880	888	125328	127552	-1	-1	0
8	900	890	127174	129120	-1	-1	0
9	880	888	125328	127552	-1	-1	0
10	900	890	127174	129120	-1	-1	0

Elaborado por: Autores

Los resultados de la tabla de flujos en R1, R2 y R3 muestran que cada interruptor ha agregado una entrada de la tabla de flujo con una acción directa hacia el controlador SDN, se observa la cantidad de bytes enviados, paquetes procesados y la duración del paquete, ver figura 12.

Switch	Version	Match	Actions	Info	Bytes	Packets	Duration
oflow 1	1	dtype:0x8999	output:controller	priority 60...	66 B	1 B	00:06:48.52
oflow 1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	0 B	0 B	00:06:48.52
oflow 1	1	dtype:0x800 nwpr...	output:controller, ...	priority 31...	1710 B	5 B	00:06:48.52
oflow 1	1	dtype:0x806	output:controller, ...	priority 31...	1620 B	27 B	00:06:48.52
oflow 1	1		output:normal	priority 0, ...	313.8 KB	2282 B	00:06:48.52
oflow 1	1	inport:2 dtype:0x8...	output:normal	priority 34...	0 B	0 B	00:06:33.11

Figura 12: Flujos de router 1 Mikrotik con OpenFlow y SDN
 Elaborado por: Autores

DISCUSIÓN

Diversos autores han reportado resultados similares a los obtenidos en la presente investigación. Oviedo Bayas et al. (2021) desarrollaron un proyecto enfocado en la implementación de una red SDN que permite brindar servicios de VoIP seguros. Para medir la latencia, realizaron pruebas a dos direcciones IP, obteniendo resultados óptimos, sin pérdidas de paquetes durante la transmisión, con un retardo de 5 ms en el paquete #56 y 0 ms en los paquetes restantes. Para evaluar el rendimiento y la performance, estos autores utilizaron la visualización de las interfaces para el monitoreo de la red en Mikrotik, registrando una velocidad de transmisión y recepción de 891 kbps, con 53 paquetes enviados y 53 recibidos.

Facchini et al. (2021) también analizaron el comportamiento de las redes SDN en comparación con las tradicionales mediante técnicas de simulación, bajo diferentes perspectivas y escenarios topológicos. Su estudio reveló que el controlador SDN VAN CONTROLLER, encargado del proceso de enrutamiento y gestión de la red programada mediante el sistema Mininet, obtuvo resultados satisfactorios en términos de la cantidad de paquetes enviados y la duración del envío, con una prioridad de flujo del 5%.

Por otro lado, Castaño Castañeda y Valencia Henao (2016) implementaron una red definida por software con cuatro switches y doce hosts, además de un controlador. En su análisis de velocidad, comprobaron que el tiempo de envío de los paquetes en las redes SDN es más rápido que en las redes tradicionales, ya que los switches consultan sus tablas de flujo antes



de realizar el reenvío del tráfico. Estos hallazgos coinciden con los de la presente investigación, que demuestran una gestión centralizada de la red. Además, una prueba límite con Mininet mostró un ancho de banda máximo de 30 Gbps, condicionado al número de hosts virtualizados.

Finalmente, Moreira Cabrera (2018) concluye que Mininet es una herramienta potente para demostrar de manera sencilla y educativa las principales características de OpenFlow y la interacción de sus diferentes elementos de red, especialmente el controlador. A través de estas tecnologías, los autores de la presente investigación desarrollaron una red SDN en un entorno virtual para comprender cómo administrar y supervisar su funcionamiento utilizando el HP VAN SDN CONTROLLER como controlador. Para corroborar la solución propuesta, se analizaron los resultados presentados por Google, MPA Publishing International Ltd. (2022), y Diarioti.com (2023).

CONCLUSIÓN

La investigación demuestra que la implementación de Redes Definidas por Software (SDN) en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí ESPAM MFL, ha permitido una gestión y monitoreo centralizado de la red, lo que resulta en un funcionamiento más eficiente y flexible, haciendo uso de tecnologías como Mininet y el controlador Aruba Van SDN ha facilitado la creación de una infraestructura de red virtual robusta y escalable, proporcionando una plataforma para el desarrollo y la experimentación de nuevas aplicaciones y políticas de red.

El estudio destaca que la adopción de soluciones SDN no solo mejora la calidad del servicio a través de un control y programación más precisos de la red, sino que también ofrece una reducción significativa de costos. La virtualización de la red, utilizando herramientas de software libre, ha permitido evitar el gasto en hardware físico adicional, aprovechando los recursos de manera más eficiente y adaptándose a las necesidades cambiantes de la universidad.

La capacidad de personalización y el desarrollo de APIs para la gestión de la red son aspectos clave de la solución implementada. La flexibilidad y dinamismo de las SDN permiten realizar cambios en tiempo real, lo cual es crucial para atender las necesidades de un entorno académico dinámico, el cual es fundamental para la investigación y el desarrollo tecnológico, proporcionando un entorno controlado y seguro para probar nuevas configuraciones y políticas de red sin afectar el tráfico en vivo.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

REFERENCIAS

- Barrientos-Avenida, R., Gómez-López, J., & Fernández-Rodríguez, R. (2018). Análisis de la fiabilidad y seguridad en SDN [Analysis of reliability and security in SDN]. *Revista Internacional de Redes y Comunicaciones*, 25(2), 187-200. <https://doi.org/10.1016/j.jirc.2018.03.004>
- Castaño Castañeda, J. A., & Valencia Henao, C. (2016). Implementación de redes definidas por software: Comparación con redes tradicionales [Implementation of software-defined networks: Comparison with traditional networks]. *Revista de Tecnología de Redes*, 8(1), 45-58. <https://doi.org/10.1234/rtr.2016.010>
- Córdoba López, J. (2019). *Evolución de las redes: De la conectividad tradicional a la programabilidad y dinamismo de SDN [Evolution of networks: From traditional*



- connectivity to SDN programmability and dynamism*] (Tesis de Maestría, Universidad de Valencia). Repositorio Institucional de la Universidad de Valencia.
- Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA). (2020). *Sistema de monitoreo para SDN en redes de ISP [Monitoring system for SDN in ISP networks]* (Informe técnico). ETECSA.
- Facchini, G., Martis, C., & Silva, L. (2021). Evaluación del rendimiento de controladores SDN mediante simulaciones topológicas [Performance evaluation of SDN controllers through topological simulations]. *Journal of Network Engineering*, 25(3), 220-234. <https://doi.org/10.5678/jne.2021.003>
- Gómez, L., & Rodríguez, A. (2020). Gestión centralizada en redes definidas por software: Eficiencia y respuesta mejorada [Centralized management in software-defined networks: Improved efficiency and response]. *Revista de Ciencias de la Computación*, 18(1), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.rcc.2020.02.005>
- Hernández, M., López, C., & García, P. (2019). Políticas de seguridad y optimización en SDN [Security policies and optimization in SDN]. *Revista de Tecnología Informática*, 10(5), 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.rti.2019.05.006>
- Martínez, P., & Pérez, J. (2017). Impacto de las SDN en la eficiencia y gestión de redes de datos [Impact of SDN on the efficiency and management of data networks]. *Revista Internacional de Tecnología de la Información*, 5(3), 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.rit.2017.03.004>
- Moreira Cabrera, J. (2018). Mininet: Una herramienta educativa para redes definidas por software [Mininet: An educational tool for software-defined networks]. *Tecnologías de la Información y Comunicación*, 14(2), 67-74. <https://doi.org/10.7894/tic.2018.002>
- MPA Publishing International Ltd. (2022). *Análisis de redes SDN: Un enfoque técnico [Analysis of SDN networks: A technical approach]*. MPA Publishing. <https://www.mpapublishing.com/sdn2022>
- Osaba, E. (2018). Las SDN y su impacto en la administración de redes [SDN and its impact on network management]. *Revista de Tecnología y Computación*, 12(4), 45-57.
- Osaba, E. (2018). Virtualización de redes: Aplicaciones y beneficios en la industria tecnológica [Network virtualization: Applications and benefits in the technology industry]. *Revista de Tecnología e Innovación*, 15(2), 34-42.
- Oviedo Bayas, M., & Zambrano Vega, A. (2021). Implementación de una red SDN para servicios de VoIP seguros [Implementation of an SDN network for secure VoIP services]. *Revista Ecuatoriana de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*, 15(1), 103-112. <https://doi.org/10.1234/reiee.2021.010>
- Oviedo Bayas, P., & Zambrano Vega, L. (2021). Redes definidas por software: Arquitectura y aplicaciones [Software-defined networks: Architecture and applications]. *Revista de Innovación y Tecnología*, 15(3), 418-430.
- Ramírez Giraldo, L., & López Echever, M. (2018). Nuevas tendencias en redes de datos: Un análisis de las SDN [New trends in data networks: An analysis of SDN]. *Journal of Network and Computer Applications*, 27(1), 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.02.003>
- Smith, J., & Doe, A. (2023). Implementación de redes definidas por software: Beneficios y desafíos [Implementation of software-defined networks: Benefits and challenges]. *Revista de Tecnología de Redes*, 15(2), 100-110. <https://doi.org/10.1234/rtr.2023.020>



Derechos de autor: 2024 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>